

7

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

✓  
[Date of requesting appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-86415

(P2003-86415A)

(43) 公開日 平成15年3月20日 (2003.3.20)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 1 F 1/33		H 0 1 F 1/33	4 K 0 1 8
B 2 2 F 1/02		B 2 2 F 1/02	A 5 E 0 4 1
H 0 1 F 41/02		H 0 1 F 41/02	D

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2001-276946 (P2001-276946)

(22) 出願日 平成13年9月12日 (2001.9.12)

(71) 出願人 000000011

アイシン精機株式会社

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地

(74) 上記1名の代理人 100081776

弁理士 大川 宏

(71) 出願人 899000013

財団法人 理工学振興会

東京都目黒区大岡山2-12-1

(72) 発明者 丸山 宏太

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機株式会社内

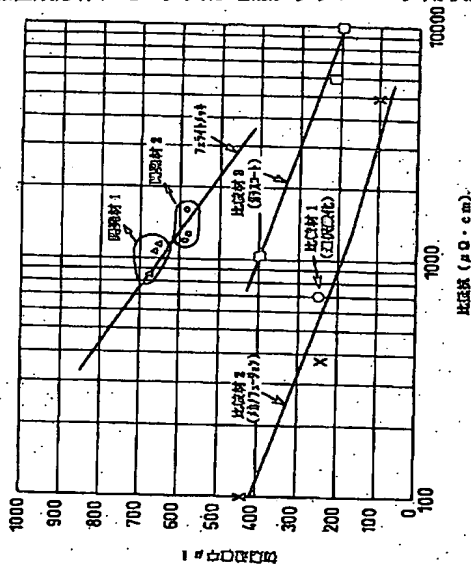
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁

(57) 【要約】

【課題】 透磁率を高くつつ、比抵抗を高めるのに有利なモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体の製造方法を提供する。

【解決手段】 軟磁性粒子では、鉄を主要成分とする鉄粉粒子に表面にソフトフェライト層が被覆されている。必要に応じて、鉄粉粒子に対して結晶粒数・低減工程を実施できる。この製造方法では、上記したモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子を主要素とする粉末集合体を用意する工程と、その粉末集合体を加圧成形して互いに結合することにより軟磁性成形体を得る結合工程とを実施する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】鉄を主要成分とする鉄粉粒子に表面に、フェライトメッキによりソフトフェライト層が被覆されていることを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子。

【請求項2】請求項1において、前記ソフトフェライト層は、スピネル構造を有し、 $(Fe, M)_3O_4$ の組成式をもち、Mは鉄(Fe)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)、マンガン(Mn)、亜鉛(Zn)、クロム(Cr)、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)の少なくとも1種からなることを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子。

【請求項3】請求項1又は2において、前記ソフトフェライト層の厚みは $0.01\mu m \sim 10\mu m$ であることを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子。

【請求項4】請求項1～3のいずれか一項において、前記鉄粉粒子は純鉄(Fe)、鉄-アルミニウム系(Fe-Al系)、鉄-シリコン系(Fe-Si系)、鉄-ニッケル系(Fe-Ni系)、鉄-シリコン-アルミニウム(Fe-Si-Al系)、鉄-クロム系(Fe-Cr系)、鉄-コバルト系(Fe-Co系)の少なくとも1種であることを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子。

【請求項5】モータ又は電磁アクチュエータに使用される軟磁性粒子の製造方法であって、鉄を主要成分とする鉄粉粒子を用意する工程と、フェライトメッキにより前記鉄粉粒子に表面にソフトフェライト層を被覆する被覆工程とを含むことを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法。

【請求項6】請求項5において、前記被覆工程に先だって、前記軟磁性の粒子を加熱雰囲気中で高温に加熱することにより、一つの鉄粉粒子における結晶粒の数を加熱前に比較して低減させる結晶粒数・低減工程を行うことを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法。

【請求項7】請求項5又は請求項6のいずれかにおいて、前記被覆工程に先だって、前記鉄粉粒子と酸とを接触させる酸接触工程を実施することを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法。

【請求項8】請求項1～7のいずれか一項に係る軟磁性粒子を主要素とする粉末集合体の粒子が互いに接合されていることを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体。

【請求項9】請求項8において、モータの固定子コア、モータの回転子コア、電磁アクチュエータの軟磁性コアうちの少なくとも一方に用いられることを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体。

【請求項10】請求項1～7のいずれか一項に係る軟磁性粒子を主要素とする粉末集合体を用意する工程と、

前記粉末集合体を加圧成形して互いに結合することにより軟磁性成形体を得る結合工程とを実施することを特徴とするモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、交流駆動されるモータ又は電磁アクチュエータに装備される軟磁性コアに使用される軟磁性粒子の製造方法、軟磁性成形体及び軟磁性成形体の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年の産業機器等の進歩に伴い、軟磁性材料は、従来よりも更に高い透磁率を有することが要望されている。更に、高い透磁率の他に、鉄損等の低減を図るため、高い比抵抗を有することが求められている。これらの要求に対し、これまでに種々の研究が進められ、種々の軟磁性成形体に係る技術が提案されてきた。

【0003】特開平5-326289号公報には、Fe-Al系の鉄系粉末を大気中で熱処理することにより粉末粒子の表面を選択的に酸化し、粉末粒子の表面に比抵抗の高いアルミ酸化物、鉄酸化物の膜を形成した軟磁性粒子を形成し、その軟磁性粒子の粉末集合体を高温高压下で成形して高密度の磁芯を製造する技術が開示されている。

【0004】特開平5-47541号公報には、ドラム内に軟磁性金属粒子とソフトフェライトとを装入した状態で機械的に攪拌させてメカノフュージョンを実施することにより、軟磁性金属粒子の表面にソフトフェライト層を機械的に被覆し、その軟磁性金属粒子の粉末集合体をプラズマ活性化焼結することにより磁性コアを製造する技術が開示されている。

【0005】特開平8-167519号公報には、軟磁性の金属粉末粒子の表面に、高い比抵抗をもつガラス状の酸化物を被覆し、その軟磁性金属粉末粒子の粉末集合体を高温・高压焼結することにより、軟磁性成形体を製造する技術が開示されている。

【0006】特開平9-180924号公報には、 $SiO_2$ からなる酸化物微粒子を含む絶縁層によって金属粉末粒子を覆い、この絶縁層を介して金属粉末粒子同士を接合して軟磁性成形体を製造する技術が開示されている。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記した各従来技術によれば、軟磁性成形体の比抵抗を高め得るため、交流磁場で使用される場合であっても、軟磁性成形体に発生する渦電流を抑えることができ、ひいては渦電流により損失を抑えることができる。しかしながら、上記した各従来技術には比抵抗の値は満足いくものの、軟磁性成形体の透磁率の値について必ずしも満足できるものではなかった。殊に、モータ等に装備される固定子コアや回転子

コアに使用される軟磁性粒子、軟磁性成形体としては、透磁率の値については必ずしも充分ではなかった。

【0008】上記した特開平5-47541号公報に係る技術によれば、ドラム内に軟磁性金属粒子とソフトフェライトとを装入した状態で機械的に攪拌させてメカノフュージョンを実施することにより、軟磁性金属粒子の表面にソフトフェライト層を機械的に被覆することにして、この場合には、機械的な攪拌に起因して軟磁性金属粒子に応力歪みが生じ、期待する磁気特性を得るには不利である。更にメカノフュージョンにより軟磁性金属粒子の表面にソフトフェライト層を被覆した場合には、軟磁性金属粒子とソフトフェライト層との境界に微小な隙間が生成することが多くあり、この隙間が磁気ギャップの要因となり、透磁率を低下させるおそれがある。

【0009】本発明は上記した実情に鑑みてなされたものであり、比抵抗を高くしつつ、透磁率を高くするのに有利なモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体の製造方法を提供することを課題とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者はモータや電磁アクチュエータに使用される軟磁性粒子、軟磁性成形体に関する技術について鋭意開発を進めている。そして、鉄を主要成分とする鉄粉粒子に表面に、フェライトメッキによりソフトフェライト層を被覆すれば、比抵抗を高めつつ透磁率を高めることができ、しかも鉄粉粒子の表面とソフトフェライト層との間の磁気ギャップの主因となる隙間を低減又は解消することができ、これにより交流磁場が作用する用途に使用したとき、渦電流を低減でき、ひいては渦電流による損失を低減するのに有利であることを知見し、試験で確認し、本発明を完成した。

【0011】即ち、本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子は、鉄を主要成分とする鉄粉粒子に表面に、フェライトメッキによりソフトフェライト層が被覆されていることを特徴とするものである。

【0012】本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法は、鉄を主要成分とする鉄粉粒子を用意する工程と、フェライトメッキにより前記鉄粉粒子に表面にソフトフェライト層を被覆する被覆工程を含むことを特徴とするものである。

【0013】本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体は、請求項1〜7のいずれか一項に係る軟磁性粒子を主要素とする粉末集合体が互いに接合されていることを特徴とするものである。

【0014】本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体の製造方法は、請求項1〜7のいずれか一項に係る軟磁性粒子を主要素とする粉末集合体を用

意する工程と、軟磁性粒子の粉末集合体を加圧成形して互いに結合することにより軟磁性成形体を得る結合工程とを実施することを特徴とするものである。

【0015】ソフトフェライト層は、基本的には、鉄酸化物を主要成分とする高絶縁性をもつ複合酸化物層であり、高い比抵抗、高い透磁率を有する。故に、鉄を主要成分とする鉄粉粒子の表面にソフトフェライト層が被覆されていれば、高い比抵抗、高い透磁率を発現させるのに有利となる。従って、高周波交流磁場等の交流磁場が作用する用途で使用されるときにおいて、渦電流が小さくなり、渦電流で生じる損失が低減される。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明に係る鉄粉粒子としては、純鉄(Fe)、鉄-アルミニウム系(Fe-Al系)、鉄-シリコン系(Fe-Si系)、鉄-ニッケル系(Fe-Ni系)、鉄-シリコン-アルミニウム(Fe-Si-Al系)、鉄-クロム系(Fe-Cr系)、鉄-コバルト系(Fe-Co系)の少なくとも1種を採用でき、場合によってはアモルファスであっても良い。鉄粉粒子においては、重量比でCは0.1%以下、殊に0.01%以下とすることができ、Oは0.5%以下、殊に0.1%以下とすることができる。鉄粉粒子としては、水アトマイズ法で製造したものでも良いし、ガスアトマイズ法で製造したものでも良いし、場合によっては、機械的破碎法で製造したものでも良い。

【0017】鉄粉粒子の粒径が過剰に小さいと、満足する磁気特性が得られにくい。鉄粉粒子の粒径が過剰に大きいと、軟磁性成形体を圧縮成形する際に圧縮成形性が低下する。従って、鉄粉粒子の粒径としては $10\mu\text{m}$ 〜 $2000\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 〜 $1000\mu\text{m}$ 、好ましくは $50\sim 250\mu\text{m}$ 、更に好ましくは $100\mu\text{m}$ 〜 $200\mu\text{m}$ を採用することができる。粒径を描えた鉄粉粒子を用いることができる。また、軟磁性成形体の密度を高めるためには、粒径を描えた鉄粉粒子を用いるよりも、大きい粒径をもつ鉄粉粒子と小さい粒径をもつ鉄粉粒子とを併せて用いることもできる。

【0018】ソフトフェライト層としては一般的にスピネル型構造を採用できる。スピネル型構造は結晶磁気異方性が比較的小さいため、透磁率、飽和磁束密度が高い。この場合ソフトフェライト層としては、 $(\text{Fe}, \text{M})_3\text{O}_4$ の組成式をもつ形態を採用できる。Mは鉄(Fe)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)、マンガン(Mn)、亜鉛(Zn)、クロム(Cr)、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)の少なくとも1種とすることができる。上記したMがNi、Znのときには、NiZnソフトフェライトとも呼ばれる。ソフトフェライト層の厚みは、メッキ粒子の大きさ、ソフトフェライト層の組成、鉄粉粒子の粒子径等にもよるが、 $0.01\mu\text{m}$ 〜 $10\mu\text{m}$ 、殊に $0.01\mu\text{m}$ 〜 $2\mu\text{m}$ 、 $0.2\mu\text{m}$ 〜 $1\mu\text{m}$ とすることができる。ソフトフェライト層の厚み

が過剰であると、ソフトフェライト層を生成する時間が長くなり、工業的生産の面では好ましくない。ソフトフェライト層の厚みが過小であると、軟磁性粒子及び軟磁性成形体の所望の比抵抗が得られにくくなり、交流磁場で使用したとき、渦電流で生じる損失が増加するおそれがある。

【0019】ソフトフェライト層はフェライトメッキにより鉄粉粒子に被覆されている。この場合、ソフトフェライト層は、鉄粉粒子の全表面または実質的に全表面に被覆されていても良いし、場合によっては、鉄粉同士の結合性を考慮すれば、鉄粉粒子の表面に部分的に被覆されている形態でも良い。フェライトメッキは、低温（一般的には20～120℃）で水溶液等の溶液から、強磁性及び絶縁性を有する鉄酸化物を主要成分とするソフトフェライト層を生成するメッキ法であり、メッキ液と鉄粉粒子とを接触させることによりソフトフェライト層を鉄粉粒子に被覆することができる。

【0020】メッキ液としては、一般的には、鉄イオン( $\text{Fe}^{2+}$ )と他の金属イオン( $\text{M}^{n+}$ )とを含む水溶液を採用できる。他の金属イオンとしては、コバルトイオン、ニッケルイオン、マンガンイオン、亜鉛イオン、クロムイオン、アルミニウムイオン、チタンイオンの少なくとも1種を例示できる。鉄イオン( $\text{Fe}^{2+}$ )、他の金属イオン( $\text{M}^{n+}$ )が、粉粒体の表面のOH基を介して吸着される。亜硝酸イオン( $\text{NO}_2^-$ )、空気等の酸化剤をメッキ液に導入することにより、 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ の酸化反応を伴いつつ、鉄粉粒子の表面にソフトフェライト層が生成すると推察されている。このように形成したソフトフェライト層は一般的にはスピネル型構造を有するとされている。

【0021】本発明に係るソフトフェライト層を鉄粉粒子の表面に被覆する被覆工程に先だって、鉄粉粒子を加熱雰囲気中で高温に加熱することにより、一つの鉄粉粒子における結晶粒の数を加熱前に比較して低減させる結晶粒数・低減工程を行う形態を採用することができる。この場合、切断面をみたとき一つの鉄粉粒子における結晶粒の数が平均で10個以内又は5個以内に設定されていることが好ましい。これにより鉄粉粒子における結晶粒のサイズが大きくなり、鉄粉粒子の透磁率が高くなる。上記した結晶粒数・低減工程により鉄粉粒子の単結晶化を促進させることもできる。単結晶化すれば、軟磁性粒子の透磁率を高めるのに有利となる。

【0022】上記した結晶粒数・低減工程において鉄粉粒子を加熱する加熱雰囲気としては、非酸化性雰囲気（例えば水素ガス雰囲気、水素ガス含有雰囲気）、真空雰囲気、アルゴンガス雰囲気が例示される。還元性雰囲気の場合には、鉄粉粒子の表面の還元を図ることができるため、鉄粉粒子の主成分である鉄が本来もつ透磁率を確保するのに有利である。結晶粒数・低減工程における加熱

温度が高ければ、一つの鉄粉粒子における結晶粒の数の低減を図り、高い透磁率を得るのに有利であるが、消費熱エネルギーが大きくなり、製造コスト的に不利となる。従って結晶粒数・低減工程における加熱温度としては、粒子の材質、要請される透磁率、コスト等の要因を考慮して選択され、一般的には750～1350℃を採用できる。従って上記要因の重視度合に応じて、加熱温度の上限値としては1320℃、1280℃、1250℃等を例示できる。加熱温度の下限値としては780℃、820℃、860℃等を例示できる。一つの鉄粉粒子における結晶粒の数の低減、製造コスト等の両立を考慮すれば、加熱温度としては800～1320℃の範囲、820～1280℃の範囲、850～1220℃の範囲、900～1100℃の範囲が好ましい。但しこれらに限定されるものではない。加熱時間としては、要請される透磁率、加熱温度にもよるが、一般的には20分間～2時間、30～90分間を採用することができるが、10分間以上が好ましい。なお、粒子の粉末集合体は、同一重量、同一組成の金属塊体に比較して比表面積が大きいいため、内部への伝熱が速やかに行われ、結晶粒を低減させるための加熱時間は、同一材質の金属塊体を加熱する場合に比較して短時間で済む。

【0023】鉄粉粒子に酸化膜が生成されている場合であっても、結晶粒数・低減工程における加熱雰囲気が還元性雰囲気であるときには、鉄粉粒子に生成されている酸化膜の除去、低減を期待することができ、フェライトメッキの均一化に貢献できる。結晶粒数・低減工程における加熱方式としては特に限定されず、加熱炉内で伝熱加熱、輻射加熱することにしても良いし、誘導加熱することにしても良い。

【0024】軟磁性粒子の粉末集合体の全体を100重量%としたとき、あるいは、軟磁性成形体の全体を100重量%とした場合、切断面をみたとき、一つの鉄粉粒子における結晶粒の数が平均でn個以内( $n=10$ )に設定されている鉄粉粒子が80重量%以上、殊に90重量%以上を占めることが好ましい。なおn=7とすることができる。あるいはn=5又はn=3とすることもできる。

【0025】また、軟磁性粒子の粉末集合体の全体を100重量%としたとき、あるいは、軟磁性成形体の全体を100重量%とした場合、切断面をみたとき、単結晶化された鉄粉粒子が80重量%以上、殊に90重量%以上を占める形態を採用することもできる。

【0026】また、上記した結晶粒数・低減工程を鉄粉粒子に対して行えば、鉄粉粒子内の結晶粒のサイズが大きくなり、鉄粉粒子の硬度低下を期待できるため、加圧成形する際の圧縮が容易となり、軟磁性成形体の密度を高めるのに有利である。この場合、軟磁性成形体の透磁率の向上、機械的強度の向上を図るのに有利である。

【0027】本発明によれば、上記した被覆工程に先だ

って、鉄粉粒子と酸とを接触させる酸接触工程を実施することができる。この場合、鉄粉粒子を酸又は酸水溶液に浸漬させることが好ましい。鉄粉粒子の表面に生成している自然酸化膜が酸接触工程により除去され、鉄粉粒子の表面に新生面を露出させることができ、ソフトフェライトを生成するフェライトメッキのムラを低減させるのに有利である。従ってソフトフェライト層の被覆の均一化を図り、ソフトフェライト層のムラを低減できる。酸接触工程で使用する酸として、塩酸、硝酸、硫酸等を例示することができる。酸の濃度が過剰であると、鉄粉粒子が溶けて鉄粉粒子の径が予想外に変わってしまうし、反応が早すぎて鉄粉粒子の径を制御しにくい。酸の濃度が過小であると、酸接触工程に時間を要し、工業生産の面では好ましくない。従って酸の濃度としては、酸の種類、鉄粉粒子の組成にもよるが、 $v o 1 \%$ で、 $0.01 \sim 10 \%$ を採用でき、好ましく $0.1 \sim 1 \%$ 、 $0.5 \sim 0.8 \%$  ( $0.7 \%$ ) が良いが、これらに限定されるものではない。酸接触工程の時間としては、酸の種類、鉄粉粒子の組成にもよるが、 $5 \text{秒} \sim 10 \text{分}$ 、殊に $30 \text{秒} \sim 3 \text{分}$ を例示できるが、これに限定されるものではない。なお、結晶粒数・低減工程と酸接触工程との双方を実施する場合には、結晶粒数・低減工程の後で酸接触工程を実施することができる。

【0028】還元性雰囲気において結晶粒数・低減工程を実施した後に、酸接触工程を実施する場合には、結晶粒数・低減工程において結晶粒数の低減を図り得るばかりか、鉄粉粒子の表面に生成している酸化膜の低減または解消も図り得る。このため、結晶粒数・低減工程後に実施する酸接触工程における酸接触時間の短縮化、酸濃度の低減に有利である。

【0029】本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体は、上記したように製造した軟磁性粒子の粉末集合体が互いに接合されて構成されている。モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体を製造するにあたり、上記した軟磁性粒子を主要素とする粉末集合体を用意する工程と、その軟磁性粒子の粉末集合体を加圧成形して互いに結合することにより軟磁性成形体を得る結合工程とを実施することができる。加圧成形としては、成型型加圧方式、静水圧加圧方式(CIP)などを例示できる。加圧力としては鉄粉粒子の種類、加圧成形の温度などによって相違するものの、 $2.0 \sim 10 \text{ tonf/cm}^2$  ( $\approx 196 \sim 980 \text{ MPa}$ )、殊に $4.5 \sim 7 \text{ tonf/cm}^2$  ( $\approx 441 \sim 686 \text{ MPa}$ ) を例示することができるが、これらに限定されるものではない。加圧時間としては鉄粉粒子の種類、加圧成形の温度などによって相違するものの、 $5 \sim 120 \text{ 秒}$ 、殊に $10 \sim 60 \text{ 秒}$ を例示することができるが、これらに限定されるものではない。加圧成形の雰囲気としては、大気雰囲気、非酸化性雰囲気(アルゴンガス雰囲気、真空雰囲気等)を例示することができる。

【0030】軟磁性成形体としては、モータの固定子コア、モータの回転子コア、電磁アクチュエータの軟磁性コアの少なくとも一方に適用することができる。従って、モータの固定子コアに適用しても良いし、モータの回転子コアに適用しても良いし、電磁アクチュエータの軟磁性コアに適用しても良い。モータとしては、公知のモータで有れば良く、回転式モータ、リニア式モータを含む。電磁アクチュエータは、コイルに通電することによって、磁力または電磁力により操作子を作動させるものを意味し、プランジャ型のソレノイド装置、油圧回路または空圧回路といった流体回路等に使用される電磁弁を含む。

【0031】

【実施例】本発明の実施例を具体的に説明する。(第1実施例)

(1) 下記の軟磁性をもつ鉄粉粒子の粉末集合体を用意した。

【0032】組成：重量比で、 $\text{Fe}-0.004\% \text{C}-0.25\% \text{O}-0.01\% \text{Si}-0.01\% \text{Mn}-0.001\% \text{P}$

製法：ガスアトマイズ法

粒子粒径： $50 \sim 150 \mu\text{m}$

上記したように粒子粒径を $50 \sim 150 \mu\text{m}$ と広く分散させたのは、軟磁性成形体の高密度化のためには、粒径を描えた鉄粉粒子だけを用いるよりも、大きい粒径をもつ鉄粉粒子と小さい粒径をもつ鉄粉粒子とを併用することが好ましいからである。また製造コスト面からも不利である。図1、図2は、ガスアトマイズ法で製造された出発原料としての鉄粉粒子の電子顕微鏡写真(TEM)を示す。

【0033】(2) 次に鉄粉粒子の粉末集合体を還元性雰囲気(水素雰囲気)において高温( $1000^\circ\text{C} \times 1 \text{時間}$ )に加熱することにより、鉄粉粒子の結晶粒数・低減工程を行った。一個の鉄粉粒子の切断面における結晶粒の数は、加熱前において平均で15個以上であったが、加熱後には平均で8個以下に低減されていた。これに伴い一個の鉄粉粒子において結晶粒のサイズが増大化していた。

【0034】(3) 次に上記した結晶粒数・低減工程を行った鉄粉粒子と酸とを接触させる酸接触工程を常温領域において実施した。この場合、塩酸水溶液( $v o 1 \%$ で約 $0.7 \%$ )に鉄粉粒子を約10分間浸漬させた。酸接触工程の目的は、鉄粉粒子の表面に生成していた酸化膜を除去することである。なお上記した塩酸水溶液の濃度は上記に限定されるものでなく、適宜変更できるものであり、鉄粉粒子の表面に生成している酸化膜を除去できればよい。

【0035】(4) 上記した酸接触工程を経た鉄粉粒子の粉末集合体に対してフェライトメッキ処理を行った。図7に示すように、酸化剤供給槽10、処理槽12、メ

メッキ液供給槽14、アンモニア容器16を用意した。メッキ液供給槽14に、塩化鉄水溶液(3g/300ml)、塩化ニッケル水溶液(0.717g/300ml)、塩化亜鉛水溶液(0.081g/300ml)を投入した。酸化剤供給槽10には亜硝酸ソーダ水溶液(1.0g/500ml)を投入した。なお、塩化鉄水溶液、塩化ニッケル水溶液、塩化亜鉛水溶液、亜硝酸ソーダ水溶液の濃度は上記に限定されるものではなく、適宜変更できる。

【0036】そして、酸接触工程を経た鉄粉粒子を処理槽12内に装入すると共に、第1定量ポンプ10aのホース10c、第2定量ポンプ14aのホース14c、超音波振動子20、PH電極22を処理槽12内に装入した。超音波振動子20の振動作用により処理槽12内の鉄粉粒子が分散していることを確認した後に、第1定量ポンプ10aにより酸化剤供給槽10内の酸化剤水溶液を処理槽12内に供給すると共に、第2定量ポンプ14aによりメッキ液供給槽14内のメッキ液を処理槽12に供給し、フェライトメッキ処理を鉄粉粒子に実施した。

【0037】フェライトメッキ処理を実施するにあたり、滴定ポンプ16aによりアンモニア水を処理槽12に適宜滴下した。単位時間当たりの供給量としては、メッキ液が3.0ml/分、酸化剤が2.0ml/分、アンモニア水が4.3ml/分とした。但しこれに限定されるものではない。フェライトメッキ処理では、処理槽12内が酸性となるため、pHモニタでpH6.0に保持した。フェライトメッキ処理の進行に伴い、処理槽12内のメッキ液は青緑→茶色→黒色化した。

【0038】フェライトメッキ処理により、鉄粉粒子の表面にソフトフェライト層が被覆された。フェライトメッキ処理の終了後、処理槽12内の鉄粉粒子を磁石により吸着させて処理槽12から取り出した。取り出した鉄粉粒子をろ紙の上に移し、純水を用いて鉄粉粒子をろ過洗浄した。更にエタノールを用いて鉄粉粒子をろ過洗浄した。

【0039】図8(A)はこのように形成した軟磁性粒子の概念図を模式的に示す。図8(A)に示すように、結晶粒が大きくされた鉄粉粒子100の表面の全域にはソフトフェライト層200が被覆されている。また図8(B)は上記した結晶粒数・低減工程を行わずに形成した軟磁性粒子の概念図を模式的に示す。図8(B)に示すように、結晶粒数・低減工程を経ない鉄粉粒子100Aでは、一個の鉄粉粒子において多くの結晶粒が生成している。鉄粉粒子100Aの表面にはソフトフェライト層200が被覆されている。

【0040】図3、図4は、上記したように酸接触工程の後でフェライトメッキ処理を実施した後の鉄粉粒子の電子顕微鏡写真(TEM)を示す。図3、図4から理解できるように、酸接触工程を経た場合には、フェライト

層は均一に生成していた。また図5は、上記した酸接触工程を実施することなくフェライトメッキ処理を実施した後の鉄粉粒子の電子顕微鏡写真(TEM)を示す。図5に示すように、上記した酸接触工程を実施することなくフェライトメッキ処理を実施した場合には、鉄粉粒子の表面にソフトフェライト層が被覆されるものの、鉄粉粒子の表面の一部にソフトフェライト層が被覆されていない未生成部分も存在していた。従ってソフトフェライト層の均一被覆性を考慮すれば、フェライトメッキ処理に先だって、鉄粉粒子に対して酸接触工程を実施することが好ましい。但し、酸化膜が実用上支障がないときには、酸接触工程を実施せずとも良い。

【0041】(5)このようにして製造された軟磁性粒子の粉末集合体を図略の成形型のキャビティに装填した後に加圧成形し、軟磁性粒子を互いに結合させる結合工程を実施した。これにより軟磁性成形体(直径:30mm、高さ10mmの円柱)を形成した。加圧成形の条件としては、温間成形(大気中で450℃)であり、面圧は7.0tonf/cm<sup>2</sup>(≒686MPa)とした。図6は、上記したように加圧成形した軟磁性成形体の光学顕微鏡写真(ナイタルエッチ後)を示す。図6に示すように、軟磁性粒子が互いに接合しており、軟磁性粒子の周囲にはソフトフェライト層が積層されている。そしてソフトフェライト層が3次元ネットワーク状に形成されていることがわかる。なお、この軟磁性成形体の密度は7.4~7.7であった。

【0042】(6)上記したように形成した軟磁性成形体について、比抵抗、透磁率を測定し、その関係を求めた。比抵抗については、軟磁性成形体(直径:30mm、高さ10mmの円柱)を用い、室温にて4端子法で測定した。透磁率については、軟磁性成形体(直径:30mm、高さ10mmの円柱)から、試験片(外径12mm×内径8mm×高さ2mm)を取り出し、試験片について初期透磁率 $\mu_i$ を測定した。測定結果を図9に示す。図9において、△印は開発材1に相当する。○印は開発材2に相当する。

【0043】開発材1においては、鉄粉粒子の材質は純鉄(平均粒径:100 $\mu$ m)、ソフトフェライト層はNiZnソフトフェライト(厚み:約200nm=約0.2 $\mu$ m)とした。開発材2においては、鉄粉粒子の材質は純鉄(平均粒径:100~250 $\mu$ m)、ソフトフェライト層はNiZnソフトフェライト(厚み:約200nm=約0.2 $\mu$ m)とした。比較材1は、従来技術で述べた従来文献1(特開平5-326289号公報)に準じる技術であり、選択酸化により鉄粉粒子の表面に鉄酸化物の絶縁膜を被覆したものである。比較材1においては、鉄粉粒子の材質はFe-3wt%Si(平均粒径:100 $\mu$ m)、絶縁層はSiO<sub>2</sub>(厚み:約150nm)とした。比較材2は、従来技術で述べた従来文献2(特開平5-47541号公報)に準じる技術であ



り、メカノフュージョンにより鉄粉粒子の表面にソフトフェライト層を被覆したものである。比較材2においては、鉄粉粒子の材質は純鉄（平均粒径： $100\mu\text{m}$ ）、絶縁層は $\text{MnZn}$ ソフトフェライト（厚み：約 $2\mu\text{m}$ ）とした。比較材3は、従来技術で述べた従来文献3（特開平8-167519号公報）に準じる技術であり、ガラスコートにより鉄粉粒子の表面に絶縁膜を被覆したものである。比較材3においては、鉄粉粒子の材質は純鉄（平均粒径： $100\mu\text{m}$ ）、絶縁層はリン酸系ガラス（厚み：約 $40\text{nm}$ ）とした。

【0044】図9から理解できるように、開発材1、開発材2によれば、高い比抵抗を実現しつつも高い透磁率を得ることができた。これに対して比較材1～比較材3は、透磁率は充分ではなかった。

【0045】（第2実施例）第2実施例は第1実施例と基本的には同様の構成であり、第1実施例と同様の作用効果を奏する。第2実施例では軟磁性成形体の成形条件は第1実施例に基づいた。第2実施例においては、鉄粉粒子には結晶粒数・低減工程は実施されていないものの、酸接触処理を実施した鉄粉粒子について、フェライトメッキ処理が実施されている。第2実施例で製造された軟磁性粒子を加圧成形して形成した軟磁性成形体によれば、高い比抵抗を実現しつつも、高い透磁率を得ることができる。

【0046】（第3実施例）第3実施例は第1実施例と基本的には同様の構成であり、第1実施例と同様の作用効果を奏する。第3実施例では軟磁性成形体の成形条件は第1実施例に基づいた。第3実施例によれば、鉄粉粒子には結晶粒数・低減工程は実施されているものの、酸接触工程は実施されていない。従って、結晶粒数・低減工程を経ているものの、酸接触工程を経していない鉄粉粒子について、フェライトメッキ処理を実施した。第3実施例で製造された軟磁性粒子を加圧成形して形成した軟磁性成形体によれば、高い比抵抗を実現しつつも、高い透磁率を得ることができる。但し、酸接触工程が実施されていないため、鉄粉粒子に被覆されたソフトフェライト層には多少ムラがあった。

【0047】（予備試験）上記した軟磁性成形体を製造するに先だって、鉄粉粒子の粒径の最適サイズを選択する予備試験を行った。この予備試験では、鉄粉粒子として純鉄粉を用い、温間成形により圧粉体を形成し、粉末粒度の影響を調べた。この場合には、予備試験であるため、純鉄粉にはフェライトメッキを施していない。予備試験の結果を図10～図12に示す。図10に示すように、ふるい分け前の最大透磁率は1000程度であった。図10に示すように、粒径が $45\mu\text{m}$ 以下の場合には、最大透磁率は650程度であった。粒径が $100\sim 250\mu\text{m}$ の範囲の場合、粒径が $160\sim 250\mu\text{m}$ の場合、粒径が $250\sim 430\mu\text{m}$ の場合には、共に最大透磁率は1100を越えていた。

【0048】更に、鉄粉粒子の粉末粒度と軟磁性成形体の密度との関係を測定し、同様に、粉末粒度と軟磁性成形体の磁束密度との関係を測定した。測定結果を図11に示す。この場合には、予備試験であるため、フェライトメッキを施さない鉄粉粒子を用いた。軟磁性成形体の成形条件としては、温度が $450^\circ\text{C}$ 、加圧力が $7\text{tonf}/\text{cm}^2$ （ $\approx 686\text{MPa}$ ）とした。図11において○印は軟磁性成形体の密度を示す。△は軟磁性成形体の磁束密度を示す。図12から理解できるように、粒径が $45\mu\text{m}$ 以下と小さな場合には、軟磁性成形体の密度は急激に低下しており、強度確保の面で好ましくない。但し粒径が $45\mu\text{m}$ 以下の場合でも、軟磁性成形体の磁束密度の低下は少なかった。

【0049】更に、鉄粉粒子の粉末粒度と軟磁性成形体の比抵抗との関係を測定し、同様に、粉末粒度と軟磁性成形体の抗折強度との関係を測定した。測定結果を図12に示す。この場合には、予備試験であるため、フェライトメッキを施さない鉄粉粒子を用いた。図12において○印は比抵抗（ $\rho:\mu\Omega\text{cm}$ ）を示す。△は抗折強度（ $R_{tr}:\text{kgf}/\text{mm}^2$ ）を示す。図12から理解できるように、鉄粉粒子の粒度が大きいと、比抵抗が小さくなる傾向がみられた。抗折強度については、鉄粉粒子の粒度の変化は抗折強度にあまり影響しなかった。

【0050】（適用例）図13は、車両等に搭載されるスイッチトリラクタンスモータ（SRM: Switched Reluctance Motor）に適用した適用例を模式的に示す。スイッチトリラクタンスモータは、固定子コア600と、固定子コア600内に回転可能に配置された回転子コア700とを有する。固定子コア600は、大きい径を有する第1リング体610と、第1リング体610の径内方向に突出した複数個の内向き突起620とを有する。回転子コア700は、軸孔711を有すると共に第1リング体610よりも径が小さい第2リング体710と、第2リング体710の径外方向に突出した複数個の外向き突起720とを有する。軸孔711には回転軸712が嵌着されている。固定子コア600の各内向き突起620には、回転磁界を得るための巻線コイル650が装備されている。回転子コア700には巻線コイルが装備されていないため、構造の簡素化を図り得る。回転子コア700及び固定子コア600の一方又は双方を、本発明に係る軟磁性成形体で形成することができる。

【0051】具体的には、回転子コア700の第2リング体710及び外向き突起720を、本発明に係る軟磁性成形体で形成することができる。また固定子コア600の第1リング体610及び内向き突起620を、本発明に係る軟磁性成形体で形成することができる。

【0052】このようにすれば、透磁率を高めつつ、比抵抗を高め得るため、交流磁場の周波数が高いときであっても、渦電流を抑えることができ、ひいては渦電流に起因する損失を低減させることができる。スイッチトリ

ラクタンスモータによれば、トルク／イナーシャ比が高いので、反転可能であり、高速で、しかも大トルクで可変速駆動することができる。

【0053】図14は上記したスイッチトリラクタンスモータに使用される回転子の一例を示す。図14に示す例によれば、回転子コア700Bは、軸孔711Bを有する第2リング体710Bと、第2リング体710Bの径外方向に突出した複数個の外向き突起720Bとを有する。回転子コア700Bは本発明に係る軟磁性成形体で形成されている。回転子コア700Bの軸孔711Bには、回転軸712B（材質：SCM20）が嵌着されている。

【0054】図15は電磁アクチュエータの一例であるブランジャ型のソレノイド装置800を示す。ソレノイド装置800は、室811を有する有底筒形状の軟磁性コア810と、軟磁性コア810の室811内に保持された励磁コイル820と、室811に挿入された操作子としての可動ブランジャ830と、可動ブランジャ830に繋がる復帰バネ840とを有する。励磁コイル820への通電に伴い、ブランジャ830は移動する。励磁コイル820の非通電時には、復帰バネ840のバネ力によりブランジャ830を元の位置に復帰させる。

【0055】（その他）なお、本発明に係る軟磁性成形体は上記したスイッチトリラクタンスモータ（SRM）に限らず、DCモータ、誘導モータ、同期モータの固定子コアや回転子コア等にも適用することができ、またソレノイド装置800に限らず電磁アクチュエータとしての電磁弁の軟磁性コアにも適用することができる。鉄粉粒子の材質、粒径は第1実施例で使用したものに限定されるものではなく、適宜変更することができる。第1実施例ではフェライトメッキ処理は図7に示す装置で実施されるが、この装置に限定されるものではない。本発明は上記し且つ図面に示した実施例、適用例のみに限定されるものではなく、要旨を逸脱しない範囲内で適宜変更して実施できるものである。

【0056】

【発明の効果】本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子、その製造方法によれば、透磁率を高めつつ、比抵抗を高めるのに有利である。

【0057】本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体、その製造方法によれば、透磁率を高めつつ、比抵抗を高めるのに有利である。本発明に係るモータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体によれば、多数枚のケイ素鋼板を厚み方向に積層して軟磁性成形体を形成する場合に比較して、形状の自由度を拡大す

るのに有利である。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施例で用いた鉄粉粒子の電子顕微鏡写真（倍率：1000倍）である。

【図2】第1実施例で用いた鉄粉粒子の電子顕微鏡写真（倍率：5000倍）である。

【図3】第1実施例で用いた鉄粉粒子の表面にフェライト層を被覆した状態を示す電子顕微鏡写真（倍率：500倍）である。

【図4】第1実施例で用いた鉄粉粒子の表面にフェライト層を被覆した状態を示す電子顕微鏡写真（倍率：500倍）である。

【図5】酸接触工程を経していない鉄粉粒子の表面にフェライト層を被覆した状態を示す電子顕微鏡写真（倍率：500倍）である。

【図6】第1実施例で用いた鉄粉粒子の表面にフェライト層を被覆した軟磁性粒子の集合体を加圧成形して形成した軟磁性成形体の光学顕微鏡写真である。

【図7】フェライトメッキ処理を鉄粉粒子に対して行う装置の概略図である。

【図8】（A）は第1実施例で用いた鉄粉粒子の表面にフェライト層を被覆した状態の軟磁性粒子を模式的に示す概念図であり、（B）は結晶粒数・低減工程を経していない鉄粉粒子の表面にフェライト層を被覆した状態の軟磁性粒子を模式的に示す概念図である。

【図9】軟磁成形体の比抵抗と初期透磁率との関係を示すグラフである。

【図10】予備試験の結果を示すものであり、鉄粉粒子の粒度と透磁率との関係を示すグラフである。

【図11】予備試験の結果を示すものであり、鉄粉粒子の粒度と軟磁性成形体の密度との関係を示すグラフである。

【図12】予備試験の結果を示すものであり、鉄粉粒子の粒度と軟磁性成形体の比抵抗、抗折強度との関係を示すグラフである。

【図13】適用例を示し、スイッチトリラクタンスモータ（SRM）の概略を示す構成図である。

【図14】適用例を示し、スイッチトリラクタンスモータ（SRM）の回転子コアの概略を示す構成図である。

【図15】電磁アクチュエータの一例であるブランジャ型のソレノイド装置を示す構成図である。

【符号の説明】

図中、600は固定子コア、650は巻線コイル、700は回転子コアを示す。

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

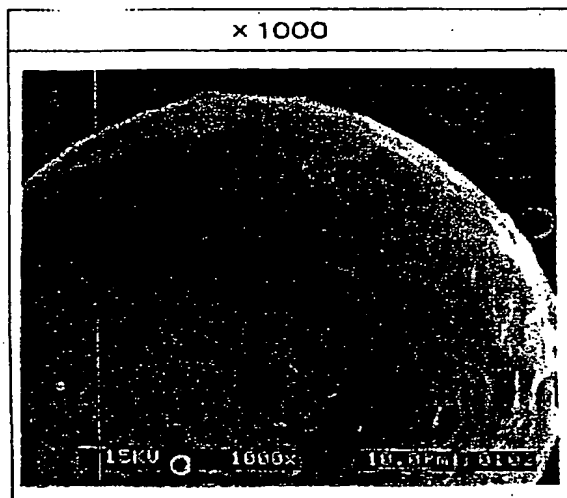
Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

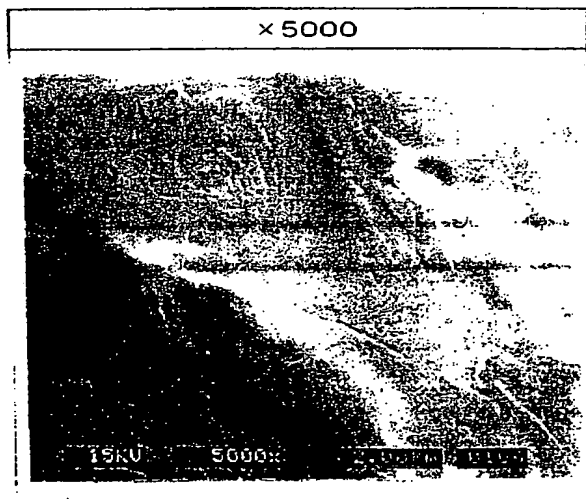
**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

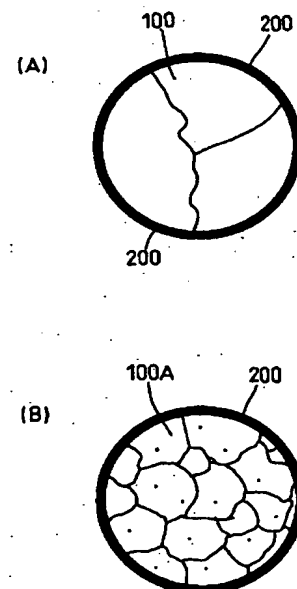
【図1】



【図2】

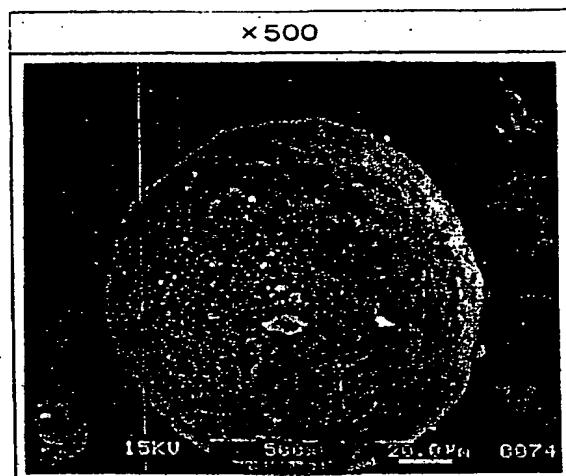


【図8】

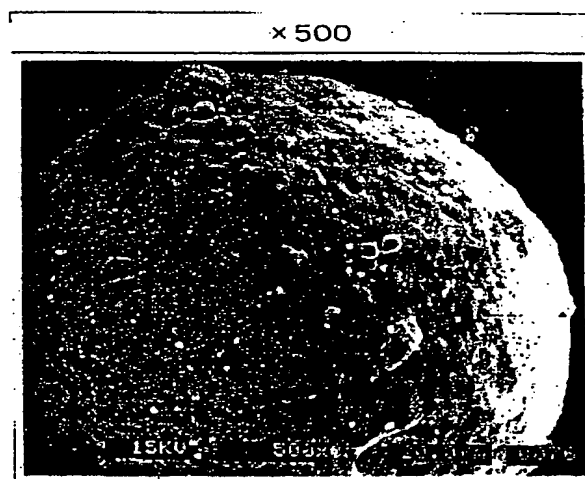


(10) 2003-86415 (P2003-86415)

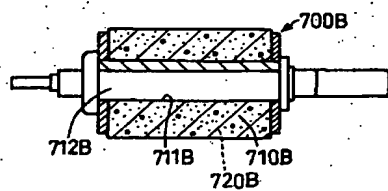
【図3】



【図4】

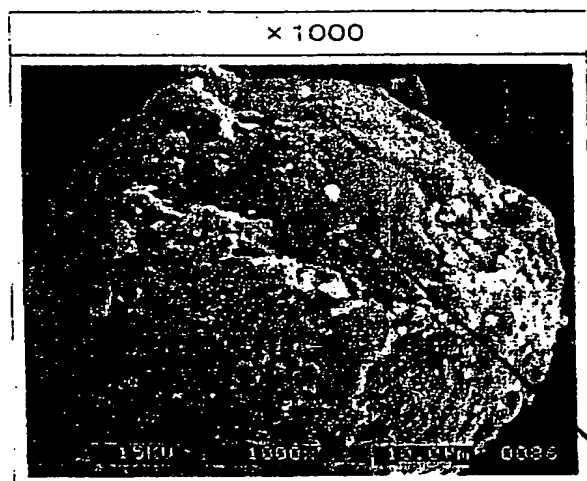


【図14】



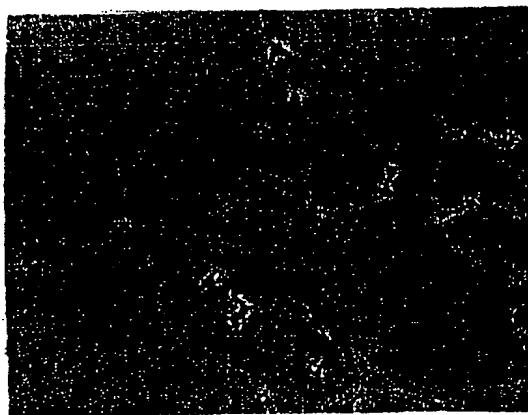
(11) 冊2003-86415 (P2003-864Y)

【図5】



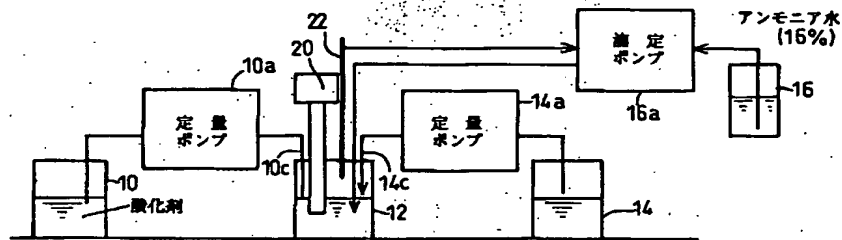
未生成部分

【図6】

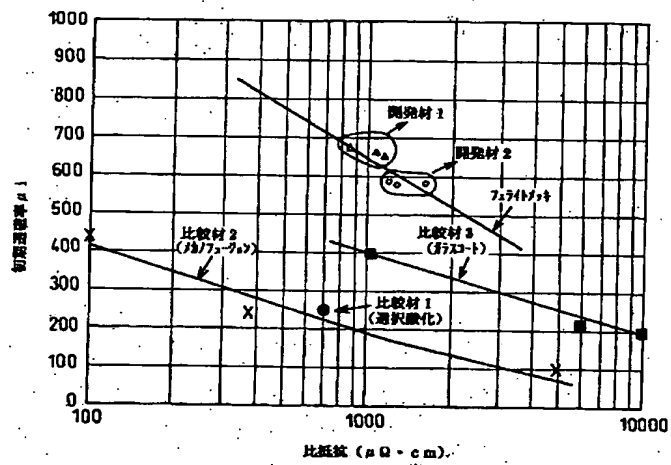


×400

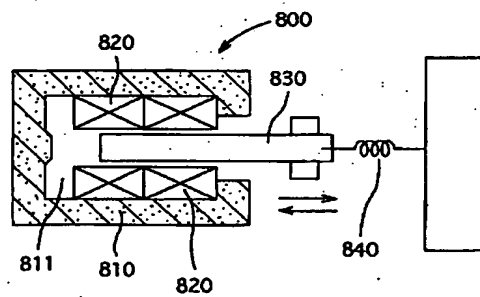
【図7】



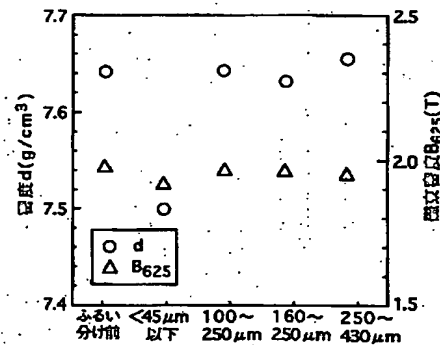
【図9】



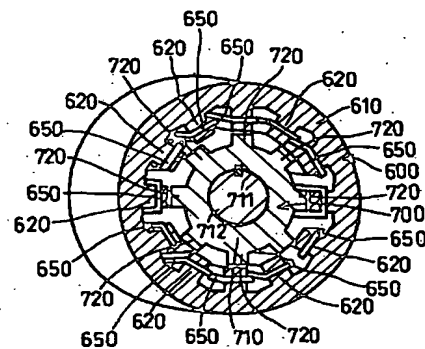
【図15】



【図 1 1】



【図13】



(72)発明者 岡林 真  
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシン精機株式会社内

(72)発明者 神谷 直樹  
愛知県刈谷市八軒町5丁目50番地 株式会社イムラ材料開発研究所内

(72)発明者 阿部 正紀  
東京都大田区北嶺町5-8-502

Fターム(参考) 4K018 BA14 BC22  
5E041 AA01 AA02 AA03 AA04 AA05  
AA07 BC01 CA04 CA10 HB05  
HB14 HB17 NN01 NN05 NN06



【発明の名称】

モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性粒子の製造方法、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体、モータ又は電磁アクチュエータ用軟磁性成形体の製造方法